

# ANALISIS KEKUATAN RANGKA TERHADAP BEBAN STATIS KENDARAAN LISTRIK *LAST MILE TRANSPORTATION* KAPASITAS 14 ORANG

Toni Prahasto<sup>1</sup>, Bahtiar Falah<sup>2</sup>, Achmad Widodo<sup>3</sup>, Ojo Kurdi<sup>4</sup>, Djoeli Satrijo<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl Prof Sudharto, SH, Semarang 50275. Telp 024 7460059  
Email: toniprahasto@lecturer.undip.ac.id

## Abstrak

Artikel ini menyajikan indikator kinerja kekuatan rangka terhadap beban statis untuk sebuah kendaraan listrik murni dengan peruntukan *last mile transportation* untuk penumpang dengan kapasitas 14 orang. Kondisi analisis adalah posisi datar tanpa kemiringan dengan kesemua roda menjejak jalan. Beban yang ditanggung oleh rangka terdiri dari gaya arah vertikal, gaya arah lateral, dan torsi. Beban vertikal terdiri dari berat badan di atas rangka sebesar 1,38 kN, berat rangka sebesar 2,68 kN, berat 14 penumpang dewasa sebesar 8,52 kN, dan berat baterai sebesar 3.85 kN. Beban lateral adalah gaya yang ditimbulkan oleh akselerasi, deselerasi, dan belok. Beban ini terdiri dari body frame atas sebesar 915 N, body frame bawah sebesar 1,77 kN, penumpang sebesar 5,63 kN, dan baterai sebesar 2,54 kN. Ada tiga lokasi sepanjang arah lateral dan masing-masing lokasi memiliki dua tumpuan di sebelah kiri dan kanan. Jenis tumpuan yang digunakan adalah engsel sesuai dengan jenis sambungan yang akan mengikat sub frame ke rangka. Material yang digunakan adalah baja tahan karat 316 yang memiliki densitas 8 ton per meter kubik, modulus elastisitas 193 Gpa, rasio Poisson 0.29, dan kekuatan luluh 205 MPa. Profil yang digunakan untuk kesemua komponen rangka adalah profil C berukuran 100 mm x 50 mm x 7,5 mm. Kriteria kegagalan yang digunakan adalah kriteria kegagalan statis von Mises, dan faktor keamanan yang dihasilkan adalah 3,3 untuk beban vertikal dan 3 untuk beban lateral sehingga rangka kendaraan tergolong aman karena faktor keamanan lebih tinggi dari 2,5.

**Kata kunci:** rangka kendaraan; beban statis; kendaraan listrik; *last mile transportation*

## Pendahuluan

Chassis kendaraan jalan berfungsi untuk menopang semua komponen utama dan sub rakitan yang menyusun kendaraan secara utuh, seperti penggerak utama, sistem suspensi, sistem transmisi daya mekanis, sistem pengereman, dan lain lainnya. Selain itu, chassis juga berfungsi untuk memuat penumpang dan muatan dengan aman dan nyaman. Khusus untuk kendaraan jalan bertenaga listrik, sub rakitan baterai merupakan penyumbang terbesar kepada berat kendaraan secara keseluruhan, dan berat kendaraan keseluruhan per kapasitas baterai mencapai harga rata rata 30,7 kg/kWh.

Kendaraan listrik telah dan akan terus semakin kompetitif dibandingkan dengan kendaraan motor bakar torak. Penjualan kendaraan listrik meningkat pesat sejak tahun 2019 meskipun ekonomi dunia melesu dikarenakan oleh pandemi Covid 19. Pada tahun 2020, 54% dari seluruh pendaftaran mobil baru di Eropa adalah kendaraan listrik murni (BEV – battery electric vehicle) meskipun pasar kendaraan di Eropa menciut 14%. Lonjakan pendaftaran kendaraan listrik mencerminkan sepasang langkah kebijakan yaitu standar emisi karbon dioksida dan skema subsidi untuk kendaraan listrik (1)

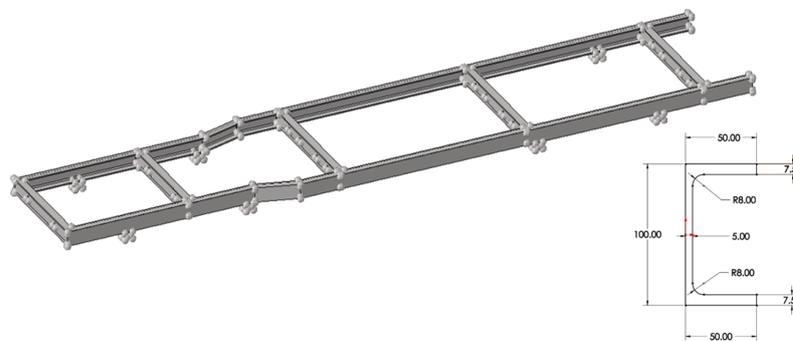
Salah satu penggunaan kendaraan listrik yang memperlihatkan peningkatan tajam adalah penggunaan untuk transportasi segmen terakhir (*last mile transportation*) baik untuk penumpang dan muatan. Penyebab peningkatan mode transportasi ini adalah persentase populasi yang hidup di daerah perkotaan (urban areas) (2), (3), (4), (5). Pertumbuhan penduduk di kota-kota dan meningkatnya kepadatan penduduk menuntut pelayanan mode transportasi segmen terakhir. Transportasi jarak terakhir mile dikategorikan sebagai perjalanan yang paling mahal dan menimbulkan dampak negatif yaitu polusi udara (6). Fenomena yang paling terlihat adalah layanan ojek daring untuk transportasi penumpang dan muatan seperti makanan, paket kecil, dan belanja daring.

Jenis kendaraan listrik murni yang disajikan dalam tulisan ini adalah kendaraan untuk transportasi jarak terakhir untuk penumpang dengan kapasitas 14 orang dewasa termasuk pengemudi kendaraan. Rentang daerah operasi adalah radius 5 kilometer di sekeliling daerah perumahan. Jarak tempuh harian dibatasi tidak lebih dari 50 kilometer per hari. Kendaraan yang modus operasinya sangat mirip dengan kendaraan yang disajikan dalam artikel ini adalah bis antar terminal di bandar udara Soekarno Hatta di Cengkareng propinsi Banten.

Penilaian kinerja kerangka kendaraan yang disajikan dalam artikel ini adalah kekuatan kerangka. Indikator kekakuan kerangka, rasio kekuatan terhadap berat, dan perilaku getaran tidak dibahas dalam artikel ini (7), (8). Jenis kerangka yang dipilih adalah rangka tangga (ladder frame) yang memiliki keunggulan berupa kemudahan pembuatan dan perakitannya, metoda konstruksi yang membuatnya cukup tangguh, dan kemudahan perbaikan. Pada kerangka konvensional bertipe ladder terdapat cross member yang menghubungkan dua sisi yang masing-masing disebut dengan side member untuk membentuk struktur pendukung bagi komponen dan muatan (9). Perlu diingat bahwa rangka tangga memiliki kelemahan berupa kekakuan torsi yang lemah sehingga mengakibatkan kinerja belok yang buruk, dan rasio kekuatan per berat yang rendah sehingga tidak cocok untuk kendaraan pacu. Analisis yang disajikan adalah analisis untuk beban statik yang ditimbulkan oleh penumpang, baterai, dan karoseri kendaraan. Posisi kendaraan dibatasi pada posisi datar dengan keseluruhan roda menapak jalan.

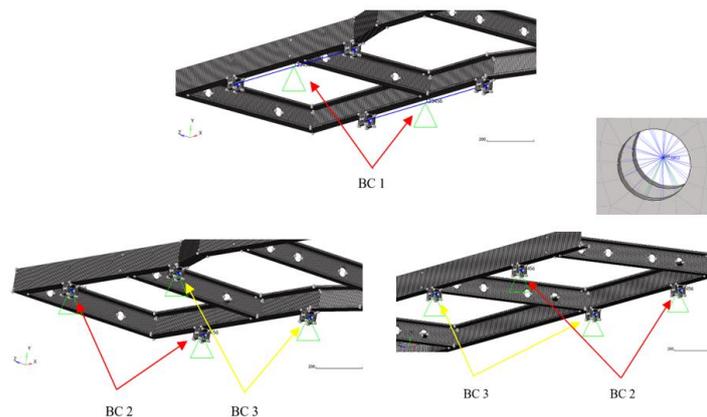
#### Model Rangka dan Model Elemen Hingga

Gambar 1 memperlihatkan model CAD dari ladder frame yang dirancang dalam tulisan ini. Ada lima batang melintang (*cross member*) yang ditujukan untuk menjadi tempat tumpuan sub-frame depan dan sub frame belakang dimana kedua sub frame ini menjadi tempat tumpuan untuk sistem suspensi, sistem kemudi, sistem pengereman, dan sistem transmisi daya mekanis ke seluruh ban. Jumlah batang melintang dibuat sesedikit mungkin untuk mendapatkan rancangan yang ringkas dan sederhana mungkin sambil memenuhi kebutuhan untuk menerima beban dari berbagai sistem yang disebutkan di atas. Profil penampang dan dimensi batang lateral dan batang melintang juga diperlihatkan oleh Gambar 1. Material yang digunakan adalah baja tahan karat 316 yang memiliki densitas 8 ton per meter kubik, modulus elastisitas 193 Gpa, rasio Poisson 0.29, dan kekuatan luluh 205 Mpa.



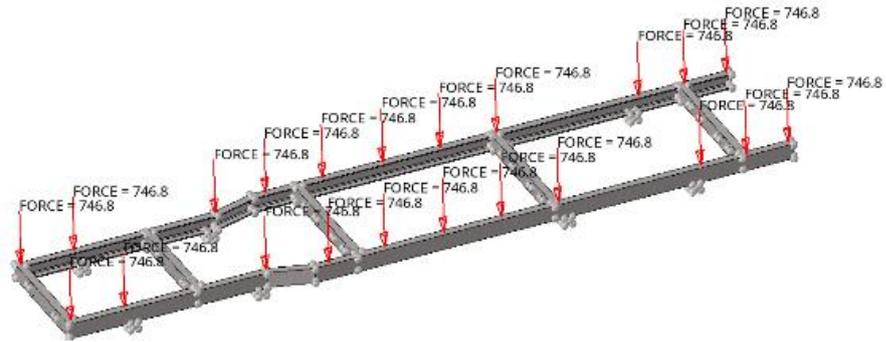
Gambar 1. Ladder frame rancangan dan penampang profil

Gambar 2 memperlihatkan lokasi tumpuan dimana sub frame disambungkan dengan rangka. Ada tiga lokasi sepanjang arah lateral dan masing-masing lokasi memiliki dua tumpuan di sebelah kiri dan kanan. Jenis tumpuan yang digunakan adalah engsel sesuai dengan jenis sambungan yang akan mengikat sub frame ke rangka. Gambar 2 memperlihatkan detail dari bentuk tumpuan.



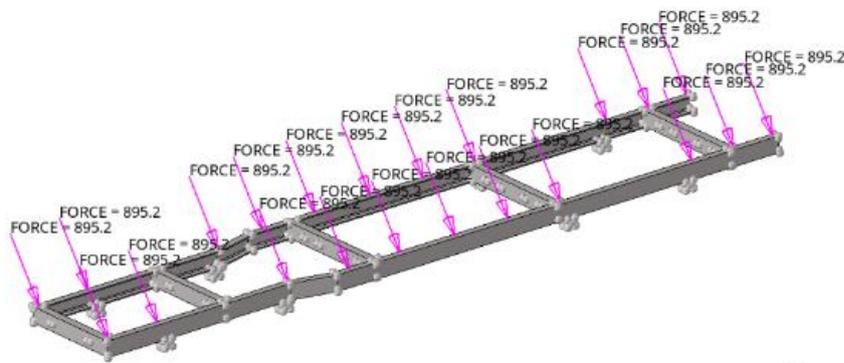
Gambar 2. Lokasi dan jenis tumpuan

Beban yang ditanggung oleh rangka terdiri dari gaya arah vertikal, gaya arah lateral, dan torsi. Beban vertikal terdiri dari berat badan di atas rangka sebesar 1,38 kN, berat rangka sebesar 2,68 kN, berat 14 penumpang dewasa sebesar 8,52 kN, dan berat baterai sebesar 3.85 kN. Gambar 3 memperlihatkan distribusi dan lokasi masing-masing gaya tersebut.



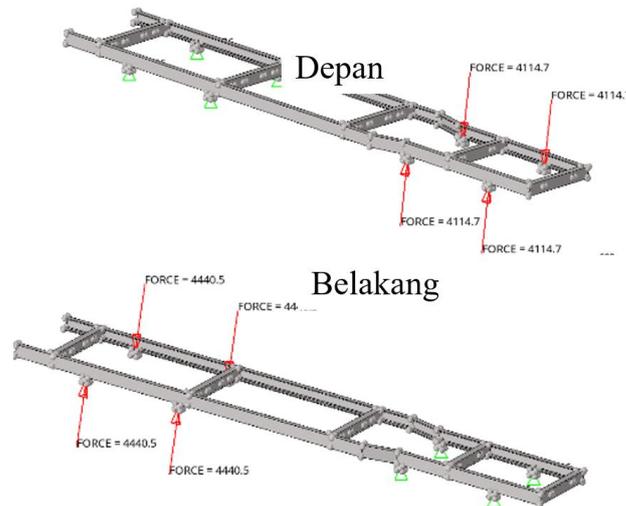
Gambar 3. Lokasi keseluruhan beban vertikal

Beban lateral adalah gaya yang ditimbulkan oleh akselerasi, deselerasi, dan belok. Beban ini terdiri dari body frame atas sebesar 915 N, body frame bawah sebesar 1,77 kN, penumpang sebesar 5,63 kN, dan baterai sebesar 2,54 kN. Gambar 4 memperlihatkan lokasi dan distribusi gaya lateral.



Gambar 4. Lokasi dan distribusi gaya lateral

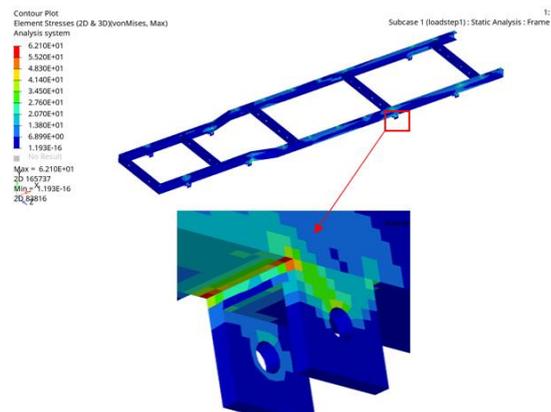
Gambar 5 memperlihatkan beban torsi sebesar 4,44 kN pada bagian depan dan 4,79 kN pada bagian belakang.



Gambar 5. Beban torsi depan dan belakang

## Hasil dan Pembahasan

Titik kritis pada pembebanan vertikal dapat dilihat seperti pada Gambar 6 yang terletak di sekitar spring hanger bagian belakang. Persyaratan kekuatan menyiratkan bahwa tidak ada bagian dari struktur yang akan kehilangan fungsinya ketika dikenai beban jalan. Hilangnya fungsi dapat disebabkan oleh kelebihan beban sesaat karena kasus beban ekstrim, atau kelelahan material. Kegagalan sesaat dapat disebabkan oleh (a) tegangan berlebih pada komponen di luar batas elastis, atau (b) oleh tekuk benda dalam tekan atau geser, atau (c) oleh kegagalan sambungan. Umur pakai sampai terjadinya awal retak lelah sangat bergantung pada detail desain, dan hanya dapat dinilai jika pengetahuan detail tentang komponen tersedia. Untuk situsasi dan batasan ini perhitungan kekuatan lelah ditunda sampai setelah tahap desain konseptual ini dinyatakan memenuhi semua persyaratan dan regulasi.



Gambar 6. Titik kritis dengan tegangan von Mises tertinggi untuk beban vertikal dan lateral. Dengan menggunakan teori kegagalan von Mises (10), (11), faktor keamanan dihitung setelah didapatkan data dari simulasi menggunakan software Altair HyperMesh. Faktor keamanan untuk beban vertikal pada lokasi tersebut adalah 3,3 yang memperlihatkan bahwa kekuatan rangka tergolong aman karena lebih besar dari 2,5. Faktor keamanan untuk beban lateral di lokasi kritis adalah 3 sehingga aman karena lebih besar dari 2,5.

## Kesimpulan

Analisis beban statis rangka kendaraan pada kondisi datar dengan kesemua roda menjejak jalan menghasilkan faktor keamanan lebih besar dari 2,5 untuk beban vertikal dan lateral. Faktor keamanan didasarkan pada teori kegagalan statis von Mises karena cocok dengan sifat material baja tahan karat 316 yang lunak. Beban lateral dan vertikal merupakan resultan dari berat penumpang, berat karoseri, dan berbagai berat komponen utama lain yang menyusun rangka secara lengkap. Distribusi beban total dan geometri model rangka mengakibatkan letak lokasi kritik di spring hanger belakang dengan kesimetrian terhadap sisi kiri dan kanan. Profil yang digunakan untuk kesemua komponen rangka adalah profil C berukuran 100 mm × 50 mm × 7,5 mm dengan alasan kekakuan penampang yang memadai secara keseluruhan, ketersediaan profil, dan daya saing harga.

## Ucapan terima kasih

Penelitian yang membuahkan artikel ini dibiayai oleh Direktorat Sumber Daya, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi pada Tahun Anggaran 2021 Nomor: 005/E4.1/AK.04.PRN/2021 Nomor SPK 697-08/UN7.6.1/PP/2021

## Daftar Pustaka

1. IEA. Trends and developments in electric vehicle markets [Internet]. 2021. [cited 2021 Nov 20]. Available from: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021/trends-and-developments-in-electric-vehicle-markets>
2. Verena Ch Ehrler DS. Challenges and perspective for the use of electric vehicles for last mile logistics of grocery e-commerce - Findings from case studies in Germany. *Res Transp Econ*. 2021;
3. Porteus E. Electric Vehicles Are the Future of Last-mile Delivery [Internet]. 2021. Available from: <https://www.practicalecommerce.com/electric-vehicles-are-the-future-of-last-mile-delivery>
4. L. Andaloro G. Development of a new concept electric vehicle for last mile transportation. *World Electr Veh J*. 2015;7:342–8.
5. Sarma S. Electric Vehicles (EVs) — The Future of Last-Mile Deliveries in 2021 and Beyond [Internet]. 2021 [cited 2021 Nov 10]. Available from: <https://blog.locus.sh/electric-vehicles-for-last-mile-deliveries/>
6. Bányai, T., Illés B, and Bányai Á. *Smart Scheduling: An Integrated First Mile and Last Mile Supply Approach*. Complexity. 2018;
7. Crolla DA. *Automotive Engineering - Powertrain, Chassis System, and Vehicle Body*. Elsevier

- Butterworth-Heinemann. 2009;
8. Morello G. The Automotive Chassis. Syst Des. 2009;2(Springer Science and Business Media B.V).
  9. Tikekar I, and Damle A. Weight Reduction of Heavy Duty Truck Chassis Through Material Optimization. Int J Eng Res Gen Sci. 2016;140–6.
  10. Richard GB. Shigley’s Mechanical Engineering Design. Mc Graw Hill. 2015;
  11. Juvinall RC. Fundamentals of Machine Component Design. 6th ed. John Wiley & Sons;